

СПАРК-ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ КАК МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОБЪЕКТА АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Гуцаленко Юрий Григорьевич, старший научный сотрудник

Национальный технический университет

«Харьковский политехнический институт»

Расширенное создание, воспроизводство и применение композиционно-химически и структурно-геометрически новых высокофункциональных материалов из наноразмерных порошков является одной из доминант современного, шестого технологического уклада. Исследовательская и опытно-производственная практика свидетельствуют о высокой эффективности технологий спарк-плазменного спекания под давлением с прямым токоподводом [1] и алмазно-искрового шлифования таких материалов с высокоплотной структурой, в особенности тугоплавких [2], в том числе инструментальных.

В связи с этим, с позиций ускорения эффективной реализации материаловедческих инноваций, актуализируется проблематика прогнозирования оптимальных условий осуществления соответствующих этим технологиям комбинированных рабочих процессов, физические особенности и преимущества протекания которых по сравнению с конвенциональными термомеханическими альтернативами консолидации и обработки порошковых материалов, проявляющиеся в объеме (спекание) и в поверхностном слое (шлифование), общепризнано обусловлены действием электрических разрядов.

В практике обоих рассматриваемых технологических методов с прямым токоподводом в рабочую зону параметром управления и фактором варьирования в поиске наилучшего технического результата является давление, испытываемое консолидируемым (спекание) или уже исходно консолидированным (шлифование) объектом рабочего процесса.

В алмазно-искровом шлифовании порошковых консолидатов, полученных спарк-плазменным спеканием, формирование функционально оптимальной высокоплотной приповерхностной структуры с достижением наилучших физико-механических свойств по критерию напряженного состояния шлифованного материала в некоторой заданной системе возможностей управления электрическими режимами обработки происходит при некотором внутреннем значении давления в экспериментальном диапазоне давлений шлифовального рабочего контакта [2].

В связи с этим на процесс электроразрядной активации в приповерхностном слое обрабатываемого алмазно-искровым шлифованием материала с некоторым расширенным приближением можно распространить действие экспериментальных закономерностей Пашена-Пеннинга по аналогии с их применением для оптимизации по давлению цикла спарк-плазменного спекания, как это рассмотрено [3]. Предполагая при этом, что формирование остаточных напряжений сжатия в приповерхностном слое при алмазно-искровом шлифовании, как и уплотнение консолидата при спарк-плазменном спекании, сопровождается подавлением пористости благодаря энергии электрического тока, в том числе в форме электрических разрядов.

Эффективное подавление пористости и в спарк-плазменном спекании, и при алмазно-искровом шлифовании исходно порошковых систем предлагается производить под давлением, величина которого обеспечивает минимальное напряжение пробоя электрическим разрядом максимальных пустот, характерных для текущего состояния консолидата.

Тогда, как это рассмотрено [3] для спарк-плазменного спекания, исходя из определяющей роли электроразрядного фактора и экспериментальных закономерностей Пашена-Пеннинга, можно предположить, что оптимальные давления P_{opt} прессования и режущего контакта при нанопорошковой электроконсолидации и алмазно-искрового шлифования, во всяком случае в первом приближении, подчиняется зависимости вида $P_{opt} = k \cdot (P \cdot h)_{opt} / h$, где h – размерная характеристика исходно нанопорошка (диаметр зерна в сферической модели), а затем зерен консолидата, k – поправочный коэффициент, учитывающий состав газовой среды; криволинейность геометрии промежутка в порах (кривые Пашена получены в экспериментальных условиях с плоскими электродами и однородным электрическим полем); известную приближенность закона Пашена и тем большую точность, чем меньше P и h , и, в то же время (по некоторым экспериментальным данным), искажения начального участка кривой Пашена при пробое малых разрядных промежутков (при одновременно малых $P \cdot h$ и h), объясняемые поддержанным туннелированием эффектом Шоттки; теплофизический фон и др.; в общем случае $k > 0$ и, в частности, с повышенным ожиданием $0 < k < 1$ в исходно нормально влажных средах реального компактирования, тем более с поддержкой последующего алмазно-искрового шлифования смазочно-охлаждающими технологическими средствами, что существенно повышает содержание влаги в приповерхностном слое объекта обработки.

Из опыта [2] выявления рационального нормального давления алмазно-искрового шлифовального контакта ($0,4 \text{ МПа}$) в обработке карбида вольфрама, полученного спарк-плазменным спеканием исходного порошка

зернистостью 40-70 нм с наибольшим внутрицикловым рабочим давлением порядка 40 МПа, соответствующим последней ступени цикла спекания в традиционной отечественной и зарубежной практике эксплуатации графитовых камер (ограничение по их многооперационной прочности), для применения закона Пашена к газовой среде, когда $(P \cdot h)_{opt} \approx 0,8 \text{ Па} \cdot \text{м}$, приближенно получаем надежное подавление пор размером до $h=20 \text{ нм}$ и более на этапе заготовительного производства спарк-плазменным спеканием, $(P \cdot h)_{opt} = (P \cdot h)_{optSPS}$. Этот расчет h выполнен из $P_{optSPS} = k \cdot (P \cdot h)_{optSPS} / h$ для $k \approx 1$ (по опыту экспериментальной практики спарк-плазменного спекания, см. [3]) и не учитывает частично поглощающего пористость рекристаллизационного роста зерен в консолидате, причем прежде всего в ее (пористости) локальных максимумах, при его (консолидате) заключительном охлаждении в цикле спарк-плазменного спекания. Следовательно, в первом приближении, данному экспериментально рациональному нормальному давлению шлифовального контакта ($P_{optAIШ} = 0,4 \text{ МПа}$) в рамках рассмотренной модели соответствует $k \approx (P_{optAIШ} \cdot h) / (P \cdot h)_{optSPS}$ и менее, или 0,01 и менее, что соответствует тренду ожидания.

Список литературы

1. Tokita, M. Recent Advanced Spark Plasma Sintering (SPS). Technology, Systems and Applications in Japan [Электронный ресурс] // 2-я международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей»; г. Москва, Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», 20-23 мая 2013 г.: [сайт]. URL : <http://lemc-lab.mephi.ru/content/file/news/tokita.pdf> (дата обращения: 29.05.2015).

2. Стрельчук, Р. М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбиду вольфраму : Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». Х., 2011. 193 с.

3. Гуцаленко, Ю. Г. Теория и практика оптимальной организации электроразрядных технологий спекания под давлением и алмазного шлифования порошковых материалов с высокоплотной структурой // Современная наука: проблемы, инновации, решения: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Курск, 27-28 февр. 2014 г.) / Курск. ин-т социал. образования (филиал) РГСУ. Курск : ООО «Учитель», 2014. С. 36-39.